

学校编码: 10384

分类号____密级____

学 号: 19920121152700

UDC____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

定制式人工髋关节假体设计/力传递分析
/制造技术研究

Research on the Design/Mechanical Transmission/
Manufacturer Technology of Customized Artificial Hip
Joint Prosthesis

韩文龙

指导教师姓名: 席文明 教授

专 业 名 称: 测试计量技术及仪器

论文提交日期: 2015 年 4 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为席文明课题(组)的研究成果,获得席文明课题(组)经费或实验室的资助,在微系统集成实验室完成。

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ☒ ） 2. 不保密，适用上述授权。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

人体股骨髓腔有绝对的差异性。临床上应用的标准化、系列化的人工髋关节假体不能与每个人的股骨髓腔精确匹配,导致假体的力学传递特性改变较大,致使人工髋关节假体置换术后,会存在应力遮蔽、骨溶解、无菌松动等一系列问题,给患者造成极大的痛苦。根据病人股骨髓腔特点和股骨力学传递模型,设计制造出与患者股骨髓腔相匹配的定制式人工髋关节假体,不但能满足患者对人工髋关节假体的个性化要求,而且能减小应力遮蔽和无菌松动的发生率,延长假体使用寿命,提高假体的稳定性。由于定制式人工髋关节假体的外形复杂,增大了假体的加工难度且加工精度不高,造成了加工成本高、周期长,很难得到广泛的普及。

本文基于 CT 影像技术,利用 Mimics 软件对股骨髓腔进行了精确建模,在髓腔模型的基础上,利用 Pro/E 软件设计出定制式人工髋关节假体的结构模型,包含假体柄、袖套、假体颈部。

临床上人工髋关节假体与股骨髓腔有不同的匹配形式,本文建立了相应的匹配形式下的力学传递模型,如远端匹配、近端匹配、远近端匹配等,并建立假体与股骨的有限元模型进行有限元分析,验证本文所建立的力学传递模型是否正确。

鉴于定制式人工髋关节假体加工难度大,精度不高的现状,本文提出了一种基于机器人集成磨削系统的加工方法。利用 ArtCam 软件对假体磨削进行自动轨迹规划,编写程序对轨迹优化处理并转化为机器人加工程序,利用 ABB RobotStudio 软件进行加工过程仿真,为假体实际加工做准备。

关键词: 定制式假体; 有限元分析; 自动化编程

Abstract

There is exist absolute difference between different human femoral medullary cavity. The standardized and serialized artificial hip joint that are applied in clinical, could not match completely with the femoral medullary cavity of all patients. The standardized and serialized artificial hip joint that are applied in clinical, could not match completely with the femoral medullary cavity of all patients, resulting in a series of questions such as stress shielding, osteolysis, aseptic loosening and so on after the hip replacement surgery and making patients withstand great pain in physically and mentally. According to the patient's femoral medullary cavity characteristic and biomechanics transmission model, designing and manufacturing the customized artificial hip joint that adapts to the femoral medullary cavity of the patient, not only can meet the individual requirements of patients for the artificial hip joint, but also can relieve stress shielding, reduce the incidence of aseptic loosening, improve the long-term stability and extend the effective service life of the artificial hip joint. not only can meet the individual requirements of patients for the artificial hip joint, but also can relieve stress shielding, reduce the incidence of aseptic loosening, improve the long-term stability and extend the effective service life of the artificial hip joint.

Based on the CT imaging techniques, this article takes advantage of Mimics software to obtain accurate model of the femoral medullary cavity. Based on the CT imaging techniques, this article takes advantage of Mimics software to obtain accurate model of the femoral medullary cavity.

There are different match forms between artificial hip joint prosthesis and medullary cavity in clinical. Different mechanical transmission model in different match forms are established in this paper, such as distant fit, the proximal fit, distant and proximal fit, etc. Establishing finite element model of prosthesis and femur to be Finite Element Analysis, which verify the correct of the mechanical transmission model.

Given the customized artificial hip joint prosthesis is difficult to process and the processing precision is not high,the paper propose a processing method that based on robot integration grinding system.Take advantage of ArtCam software to plan processing path automatically for the medullary cavity model,Take advantage of ArtCam software to plan processing path automatically for the medullary cavity model,exploit ABB RobotStudio software to simulate the process and get ready for process the prosthesis.

Keywords:customized prosthesis;finite element analysis;programming automatically

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 人工髋关节置换的生物学基础	1
1.2.1 人体髋关节的解剖结构与生物力学特性	2
1.2.2 人工髋关节置换存在的问题	3
1.3 人工髋关节假体置换研究现状与未来趋势	4
1.3.1 人工髋关节置换的国外现状	4
1.3.2 人工髋关节置换的国内现状	5
1.3.3 人工髋关节置换的未来趋势	6
1.4 有限元法在人工髋关节假体设计与力传递分析中的应用	7
1.5 本论文研究的内容及研究方案	8
第二章 基于 CT 影像的股骨及髓腔模型的三维重建	10
2.1 引言	10
2.2 人体骨骼建模方法	10
2.3 医学影像建模分析	11
2.4 基于 CT 影像数据的股骨及髓腔的三维重建	12
2.4.1 CT 影像数据获取	13
2.4.2 CT 影像数据处理	13
2.4.3 股骨及髓腔模型的三维重建	21
2.5 股骨及髓腔实体模型的优化	25
2.5.1 股骨及髓腔实体模型表面优化	25
2.5.2 股骨及髓腔实体模型的二次实体重建	26
2.6 小结	27
第三章 基于髓腔模型的定制式人工髋关节假体设计	28
3.1 引言	28
3.2 基于髓腔模型的定制式人工髋关节假体设计	28
3.2.1 定制式人工髋关节假体的特点	29
3.2.2 定制式人工髋关节假体柄体设计	30
3.2.2.1 髓腔模型与髓腔的干涉处理	30
3.2.2.2 基于混合拉伸的柄体设计	31
3.2.3 定制式人工髋关节假体袖套设计	33
3.2.4 定制式人工髋关节假体颈部偏移设计	34
3.3 定制式人工髋关节假体与样本股骨模型的装配	34
3.4 人工髋关节假体的材料分析及选择	35
3.5 定制式人工髋关节假体置换的工具及手术计划	36
3.6 小结	37

第四章 人工髋关节假体力传递研究	39
4.1 引言	39
4.2 人体股骨的力传递	39
4.3 人工髋关节假体与人体股骨不同匹配方式下的力传递	40
4.3.1 人工髋关节假体植入股骨后的力传递形式	40
4.3.2 人工髋关节假体与人体股骨远端匹配的力学传递表现	42
4.3.3 人工髋关节假体与人体股骨远近端匹配的力学传递表现	42
4.3.4 人工髋关节假体与人体股骨近端匹配的力学传递表现	43
4.4 小结	44
第五章 定制式人工髋关节假体力传递的有限元分析	45
5.1 引言	45
5.2 定制式人工髋关节假体与股骨装配模型的有限元建模	45
5.2.1 模型的材料属性	46
5.2.2 模型网格划分	46
5.2.3 人体股骨有限元建模	47
5.2.4 定制式人工髋关节假体有限元建模	48
5.2.5 定制式人工髋关节假体与股骨装配模型的有限元建模	48
5.2.6 装配模型的力加载与约束	49
5.3 定制式人工髋关节假体与股骨装配模型的力传递分析	51
5.3.1 人工髋关节假体与股骨远端匹配力传递分析	52
5.3.2 人工髋关节假体与股骨近端匹配力传递分析	53
5.3.3 人工髋关节假体与股骨远近端匹配力传递分析	54
5.3.4 定制式人工髋关节假体与股骨远近端匹配力传递分析	55
5.3.5 人工髋关节假体与股骨近端骨整合的力传递分析	56
5.3.6 定制式人工髋关节假体扭转结构对股骨及假体的力传递影响分析	58
5.4 小结	62
第六章 基于机器人的定制式人工髋关节假体的集成加工	63
6.1 引言	63
6.2 人工髋关节假体的加工方法比较	64
6.3 基于机器人技术的集成加工方法	65
6.4 基于 ArtCam 的定制式人工髋关节假体加工轨迹的自动生成	66
6.4.1 ArtCam 软件简介	66
6.4.2 设计模型导入 ArtCam 软件	67
6.4.3 定制式人工髋关节假体加工轨迹自动生成	68
6.4.4 定制式人工髋关节假体加工轨迹的优化处理	70
6.5 定制式人工髋关节假体加工过程的仿真	71
6.5.1 机器人离线编程软件 RobotStudio 介绍	71
6.5.2 定制式人工髋关节假体加工程序产生	71
6.5.3 定制式人工髋关节假体加工过程仿真	73

6.6 小结.....	74
第七章 总结与展望.....	75
7.1 总结.....	75
7.2 工作展望.....	76
参 考 文 献.....	77
致 谢.....	82
攻读学位期间发表的论文.....	83

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Biological basis of the artificial hip joint.....	1
1.2.1 The anatomical structure and biomechanics transmission characteristic of human hip joint.....	2
1.2.2 The problem of artificial hip joint artificial hip joint.....	3
1.3 Research status and future trends of artificial hip joint prosthetic replacement.....	4
1.3.1 Overseas research status of the artificial hip joint replacement.....	4
1.3.2 Domestic research status of the artificial hip joint replacement.....	5
1.3.3 The future trends of the artificial hip joint replacement.....	6
1.4 Finite element method applied in designing the artificial hip joint prosthesis and analysing the mechanical transmission.....	7
1.5 The research project and content of this thesis.....	8
 Chapter 2 The establishment of the three-dimensional solid model of femur and medullary cavity based on CT image.....	 10
2.1 Introduction.....	10
2.2 The modeling approach of human skeleton.....	10
2.3 Analyse the modeling method based on medical image.....	11
2.4 The establishment of the three-dimensional solid model of femur and medullary cavity based on CT image.....	12
2.4.1 The acquisition of CT image.....	13
2.4.2 The processing of CT image.....	13
2.4.3 The establishment of the three-dimensional solid model of femur and medullary cavity.....	21
2.5 Optimize the solid model of femur and medullary cavity.....	25
2.5.1 Optimize the model surface of femur and medullary cavity	25
2.5.2 The second model reconstruction of femur and medullary cavity.....	26

2.6 Summary.....	27
Chapter 3 The design of customized artificial hip joint prosthesis	
based on the model of femoral medullary cavity.....	28
3.1 Introduction.....	28
3.2 The design of customized artificial hip joint prosthesis based on the model of femoral medullary cavity.....	28
3.2.1 The characteristic of customized artificial hip joint prosthesis.....	29
3.2.2 The design of customized artificial hip joint handle.....	30
3.2.2.1 To deal with the interference between the medullary cavity model and medullary cavity.....	30
3.2.2.2 The design of the handle based on the mixed tensile.....	31
3.2.3 The design of the sleeve of customized artificial hip joint prosthesis	33
3.2.4 The design of the neck of customized artificial hip joint prosthesis	34
3.3 Assembly between customized artificial hip joint prosthesis and femoral model.....	34
3.4 Analysing and choosing materials for artificial hip joint prosthesis.....	35
3.5 The surgical tools and plan of customized artificial hip joint prosthesis replacement.....	36
3.6 Summary.....	37
Chapter 4 The mechanical transfer property of artificial hip joint prosthesis.....	39
4.1 Introduction.....	39
4.2 The mechanical transfer of human femur.....	39
4.3 The mechanical transfer in different match ways between artificial hip joint prosthesis and human femur.....	40
4.3.1 The form of mechanical transfer after the femur implanted into the artificial hip joint prosthesis.....	40
4.3.2 The performance of the mechanical transfer when the artificial hip joint prosthesis match the distant femur.....	42
4.3.3 The performance of the mechanical transfer when the artificial hip joint prosthesis match the proximal and distant femur.....	42
4.3.4 The performance of the mechanical transfer when the artificial hip joint	

prosthesis match the proximal femur.....	43
4.4 Summary.....	44
Chapter 5 Finite Element Analysis of mechanical transfer of	
customized artificial hip joint prosthesis	45
5.1 Introduction.....	45
5.2 The Finite element model of the assembling model of femur and	
customized artificial hip joint prosthesis.....	45
5.2.1 The material properties of model.....	46
5.2.2 The model mesh generation.....	46
5.2.3 The Finite element model of human femur.....	47
5.2.4 The Finite element model of customized artificial prosthesis.....	48
5.2.5 The Finite element model of the assembling model of femur and	
customized artificial prosthesis.....	48
5.2.6 The loads and constraints of the assembling model.....	49
5.3 Analysis of mechanical transfe of the assembling model of femur and	
customized artificial hip joint prosthesis.....	51
5.3.1 Analysis of mechanical transfe when the artificial hip join prosthesis	
match the distant femur.....	52
5.3.2 Analysis of mechanical transfe when the artificial hip join prosthesis	
match the proximal femur.....	53
5.3.3 Analysis of mechanical transfe when the artificial hip join prosthesis	
match the proximal and distant femur.....	54
5.3.4 Analysis of mechanical transfe when the customered artificial hip join	
prosthesis match femur completely.....	55
5.3.5 Analysis of mechanical transfe when the artificial prosthesis	
osseointegration.....	56
5.3.6 Analyse the mechanical transfe of femur and prosthesis influenced by	
the torsion structure of the customered artificial prosthesis	58
5.4 Summary.....	62
Chapter 6 Integration process of the customized artificial hip joint	
prosthesis based on Robot.....	63
6.1 Introduction.....	63

6.2 The comparison among process methods of the artificial hip joint prosthesis.....	64
6.3 Integration process method based on Robot technology.....	65
6.4 Generate processing track automatically of the artificial hip joint prosthesis based on ArtCam software.....	66
6.4.1 The ArtCam Introduction.....	66
6.4.2 The model import into ArtCam.....	67
6.4.3 Generate processing track automatically of the artificial hip joint prosthesis	68
6.4.4 Optimize processing track of automatically of the artificial hip joint prosthesis	70
6.5 The processing simulation of artificial hip joint prosthesis.....	71
6.5.1 The Robot off-line programing software-ABB RobotStudio.....	71
6.5.2 Generate processing track.....	71
6.5.3 Processing simulation.....	73
6.6 Summary.....	74
Chapter 7 Summary and outlook.....	75
7.1 Summary.....	75
7.2 Work outlooke.....	76
References.....	77
Thanks.....	82
Paper published during a graduate.....	83

第一章 绪论

1.1 引言

人体关节病变是临床上常见的一种疾病。随着人们年龄的增加,诸如关节炎、骨头坏死等疾病的发生率会不断增大。此外,由于意外事故等引发的一些人体关节断裂损坏,治愈难度也大大增加。人工关节置换术是最适用于因骨关节炎等疾病引起的关节功能障碍者。关节置换可以恢复关节功能,纠正关节畸形,使患者的身体机能正常化。随着医学科技的进步,人民生活水平的提高,患者对于医疗水平,康复效果的要求越来越高,伴随着对人工关节假体的要求也越来越高。

人体髋关节是对人体运动起重要支撑作用的关节,但同时,也是很容易病变的关节。据统计,美国每年因髋关节损伤而接受治疗的人数达到 30 万人^[1],全球范围内更是达到 100 多万人。随着人工髋关节置换术的临床应用,患者重新站了起来,恢复了行动能力。目前,我国使用的标准人工髋关节假体不仅型号有限,也不能与每个人的股骨精确匹配,特别是以西方人的人体关节为标准设计的进口假体,与国人股骨髓腔差距很大,会带来一些手术及术后问题。同时,由于假体与髓腔匹配的不精确,假体柄与髓腔之间有间隙,从而使得应力分布不均,造成应力遮蔽、骨溶解、无菌松动等问题,缩短人工假体的使用寿命。因此,设计、制造定制式人工髋关节假体,提高假体与髓腔的匹配度并且对假体植入股骨髓腔进行生物力学分析显得尤为重要。

人工髋关节生物力学传递的研究主要有两种方法:一种是传统的方法即直接以动物或者人尸体为标本进行力学测定研究;另一种是依托现代科技,以有限元软件为基础的有限元分析方法。有限元分析方法相较于传统方法有很多优势:首先,复杂性。有限元分析可以分析很多复杂的曲面,髓腔是不规则的,对于复杂不规则曲面传统方法无法测得精准数据;其次,透明性。有限元软件可以观察到模型的各个方面,可以详细看到股骨内部的情况。最后,实时性。有限元分析时,可以实时的改变参数来获得数据,这比传统方法要快速便捷。

1.2 人工髋关节置换的生物学基础

1.2.1 人体髋关节的解剖结构与生物力学特性

人体髋关节是由股骨头与髋臼相对构成，下方通过股骨头与股骨颈相连，从而将人体的躯干与下肢连接起来，支撑人体站立和运动。髋关节是人体最大，关节窝最深，也是最典型最完善的球窝结构。其解剖结构如图 1.1 所示。髋臼深，其边缘称为髋臼唇。关节囊厚且有很强的韧性，股骨头仅内侧 $2/3$ 包裹在在关节囊内，外侧 $1/3$ 露于关节囊外面。关节囊里面含有股骨头韧带，它将股骨头凹面与髋臼横韧带连接起来，里面含有血管对股骨头提供营养。髋关节与肩关节的运动幅度相比相差甚远，但其稳固性要优于肩关节。

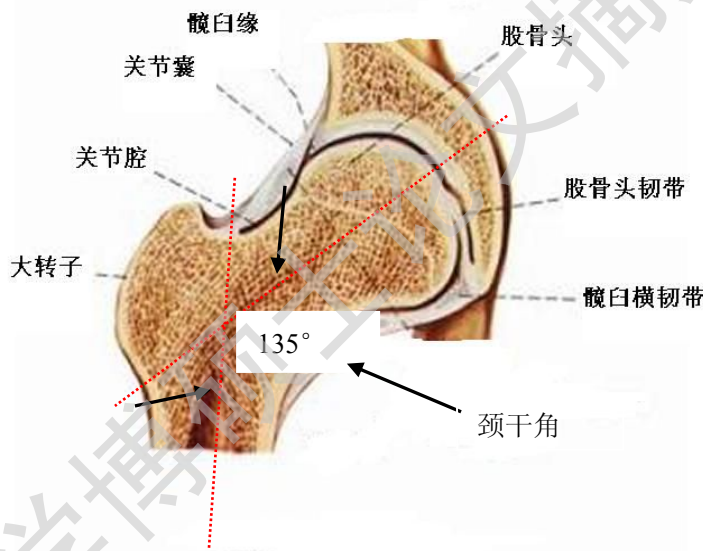


图 1.1 髋关节解剖结构图

髋关节通过股骨头与髋臼软骨面的相互接触来传递力，具有弹性的关节软骨将应力分散传递到各个作用点。正常的股骨颈与股骨干之间成一定角度，即颈干角，成人颈干角在 $110^{\circ} \sim 140^{\circ}$ 之间，这导致应力在传导时，内侧有较高的压应力，外侧有较高的张应力。通常，作用于髋关节的力除了上述所说的压应力和张应力外，还有弯曲应力和剪切应力，这些力的作用通过体重负荷和肌肉收缩综合作用表现出来。人体髋关节所表现的特性包含以下几点：

1. 股骨上端的颈干角与骨盆和下肢呈多曲结构且股骨内的骨小梁为多层网状结构，使得股骨具有合理的应力分布和最佳的受力能力。
2. 髋关节具有自动反馈调节能力，为适应张应力和压应力提供保障。根据

Wolff 定律，股骨上端具有独特的扇形压力骨小梁系统和弓形横行的张力骨小梁系统，在转子平面又形成另外的骨小梁系统。这些骨小梁系统可根据受力大小通过髋关节自动反馈调节系统改变骨小梁密度，使骨组织以最小的重量获得最大的功效。

3. 髋关节结构具有差异性。不同的个体，受外在，内在因素的影响，骨小梁组织的形状和种类不同。

以上髋关节的结构及生物力学特性，保证人体的正常竖立行走以及正常生活活动，是人体活动的基本保证。

1.2.2 人工髋关节置换存在的问题

人工髋关节置换是目前为止治疗髋关节疾病最有效的手段。每年国内外接受髋关节置换手术的患者数量是巨大的，使广大患者免受疾病的困扰。但人工髋关节置换也存在几个亟待解决的问题。临床上人工髋关节假体主要有骨水泥型和非骨水泥型两大类。临床上研究，骨水泥型假体在手术植入后早期对假体的固定有良好的作用，早期的失败率和翻修率较低，但中长期易形成无菌松动且翻修难度大。随着骨水泥技术的进步，真空搅拌、远端塞、中置器、骨水泥枪的应用，使骨水泥型假体更加可靠，至今仍为很多医生的首选^[2]。非骨水泥型假体的中长期效果要优于骨水泥型假体，因为非骨水泥型假体中长期会形成骨整合，在假体表面有骨小梁纤维长入，这使得假体固定的更加牢靠。但非骨水泥型假体易形成应力遮蔽，导致患者术后疼痛，骨溶解进而出现无菌松动等症状，严重者甚至发生骨折。

目前临床上人工髋关节假体其设计和制造时，采用标准化结构，不能很好的适用每一个人。因此，手术时会采用扩髓的方法，不但使假体与髓腔之间间隙扩大，而且二次手术的难度大大增加。此外，市场上假体价格偏高，部分患者尤其是偏远山区的地方患者没有能力承受高昂的费用，限制了人工髋关节置换这一方法的推广。

临床上应用的国内外人工髋关节假体在植入人体后，改变了人体在髋关节部分的力传递方式和效果，会导致部分力作用假体，使得假体出现磨损、疲劳破坏等，造成假体寿命减短。

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.